

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 11-045455

(43)Date of publication of application : 16.02.1999

(51)Int.Cl.

G11B 7/135

(21)Application number : 09-274823

(71)Applicant : RICOH CO LTD

(22)Date of filing : 07.10.1997

(72)Inventor : MIFUNE HIROYASU
OTAKA KOICHI

(30)Priority

Priority number : 09 15605
09137289Priority date : 29.01.1997
27.05.1997

Priority country : JP

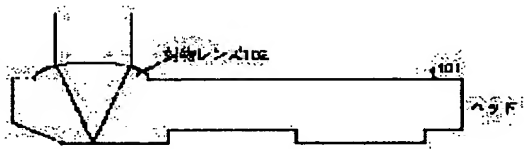
JP

(54) OPTICAL ELEMENT FOR OPTICAL PICKUP, MANUFACTURE OF THE SAME AND OPTICAL PICKUP

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To easily secure the positioning accuracy of an objective lens and a solid immersion lens and to minimize the size of a spot in diameter and then to realize high density recording/reproducing by integrally constituting the objective lens and the solid immersion lens or integrally sticking together.

SOLUTION: In an optical element for an optical pickup for performing such operations that coherent light having a prescribed wavelength is collimated, this collimated light is converged as a minute spot on an optical recording medium and then information are recorded/reproduced for an optical recording medium by using this converged light, an objective lens 102 for converging the collimated light is formed on a substrate 101 having the thickness equivalent to the convergent length of the objective lens 102.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

14.05.2002

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

3544461

含んだ全面にレジストを塗布する。これは樹脂の変形を促進するための塗布であり、塗布厚さは少なくてもよい。具体的には5ミクロン以下の必要に応じた厚さでよい(図6参照)。

【0098】次いで、熱および(あるいは)圧力の作用で樹脂を変形させて凹レンズ形状とし(図7参照)、通常の異方性エッチングにより、基板101上に凹レンズ形状を形成する(図8参照)。こうして、基板101上に形成した凹レンズ形状の対物レンズと全く同様に基板101の反対側に凹レンズ形状のソリッドイマージョン

レンズ301を形成することができる(図9参照)。

【0099】さらに、実施の形態4と同様に、上記基板101の両面に形成した凹レンズ形状部に基板材料より高い屈折率を有する材料を堆積させる。

【0100】すなわち、所望の屈折率を有した材料をターゲットとしたスパッタ法を用い、凹レンズ形状を含んだ基板101面にスパッタ膜を形成し(図10参照)、基板101面のエッチバックおよび平坦化により、凹レンズ形状部に選択的にスパッタ膜を残存させ、基板材料より高い屈折率を有する凹レンズ形状の対物レンズを得る(図11参照)。

【0101】また、上記対物レンズの反対側に形成するソリッドイマージョンレンズについても全く同様の方法を用いて製造することができる(図12参照)。なお、実際には基板101上に多数のヘッドがアレイ状にあるので、これを切断して個別のヘッドを製造する。

【0102】〔実施の形態7〕ここでは、コリメートされた光を集光させる働きをもつ対物レンズ102を形成した基板101と、記録媒体に近接する位置にある基板よりも屈折率の高いソリッドイマージョンレンズ301を形成した基板とをはり合わせ、一体化する例について説明する。

【0103】図16は、実施の形態7に係る光ピックアップ用光学素子の構成を示す説明図である。この光ピックアップ用光学素子は、対物レンズ102を具備した基板101とソリッドイマージョンレンズ301を具備した基板1601とから構成されている。

【0104】対物レンズ102を基板101には下面の左側に突起1602が設けられ、さらにソリッドイマージョンレンズ301を具備した基板1601の上部右側には突起1603が設けられ、この突起1602と突起1603とが両基板に設けられたくぼみ状穴に嵌合し、両基板の位置が決められる。なお、上記位置決めのための突起およびそのくぼみ状穴の形状は、はめ込みやすい形状であれば、その形状は問うものでなく、また、その数も幾つであってもよい。

【0105】また、上記2つの基板の接合を強固にするための手段として、接着剤あるいは電気化学的な方法などを用いる。ただし、この場合、上記突起やくぼみ状穴のある位置は、対物レンズ102とソリッドイマージョ

ンレンズ301の光路を遮るような位置には配置しないように考慮する。

【0106】図17は、実施の形態7に係る光ピックアップ用光学素子の他の構成例(1)を示す説明図であり、図16の構成に加え、ソリッドイマージョンレンズ301側の基板1601側のレンズ上側に中空部1701を設けた構成とする。

【0107】図18は、実施の形態7に係る光ピックアップ用光学素子の他の構成例(2)を示す説明図であり、ソリッドイマージョンレンズ301を基板1601の上部に設け、対物レンズ102側の基板101にはソリッドイマージョンレンズ301が配置されるように下側の面にくぼみ状穴を設けた構成とする。

【0108】図19は、実施の形態7に係る光ピックアップ用光学素子の他の構成例(3)を示す説明図である。この光ピックアップ用光学素子は、上記と同様に2つの基板が設けられ、対物レンズ102は下に凸の形状をなしている。この2つの基板には前述の実施の形態と同様に相互の基板を所定の位置関係ではり合わせ得るような突起とくぼみ状穴が設けられ、これにより嵌合し、図示のようなヘッドを構成する。

【0109】なお、上記位置決めのための突起およびそのくぼみ状穴の形状は、はめ込みやすい形状であれば、その形状は問うものでなく、また、その数も幾つであってもよい。また、上記2つの基板の接合を強固にするための手段として、接着剤あるいは電気化学的な方法などを用いる。

【0110】ただし、上記において、突起やくぼみ状穴のある位置は、対物レンズ102とソリッドイマージョンレンズ301の光路を遮るような位置には配置しないように考慮する。

【0111】また、上記実施の形態では2つの基板をはり合わせるために、嵌合型の構造となっているが、この他にたとえば図20に示すように、幾つかのマーカーを付し、そのマーカーを用いて位置合わせし、接合してもよい。

【0112】〔実施の形態8〕図21は、実施の形態8に係る光ピックアップ用光学素子の製造工程における光軸合わせを示す説明図である。図において、対物レンズ102とソリッドイマージョンレンズ301を形成した2つの基板を、双方のレンズの光軸を一致させてはり合わせるための手段として、対物レンズの光軸を中心とした円周上に、位置合わせ手段2101a~2101dを対物レンズ102を挟んで対向するように複数個形成し、ソリッドイマージョンレンズ301を形成した基板でも同様にソリッドイマージョンレンズ301の光軸を中心として円周上に位置合わせ手段2102a~2102dを形成しておき、両者の位置合わせ手段2101a~2101d、2102a~2102dを一致させるように接合する。

【0113】なお、位置合わせの手段としては、前述した図16～図18のように一方が凸形状で、他方が凹形状であるような立体的なものが可能である。また、基板上に凸形状あるいは凹形状を形成する手段としては、前述した実施の形態4、6の凸レンズ形状あるいは凹レンズ形状を形成する方法を用いればよい。

【0114】また、上記において、位置合わせ手段をマーカーとする場合は、たとえば図22に示すような平面的なマーカーを用いる。これは半導体製造プロセスで通常用いられる手法と同様であり、位置合わせを行う双方の基板に位置合わせのための精度を考慮したマーカーを形成し、この2つのマーカーの重ね合わせることによって位置合わせを行う。

【0115】上記位置合わせのためのマーカーの形成は、実施の形態4、6で説明した基板上に凸レンズ形状あるいは凹レンズ形状を形成する工程において、たとえばクロムなどの金属膜を形成し、エッチングする工程を導入し、通常の半導体製造プロセスで用いられている手法と同様に形成できる。

【0116】このようにして、双方の基板を、両レンズの光軸を一致させて位置合わせを行った後にはり合わせる手段としては、接着剤を用いてもよく、また、双方の基板を電気化学的（アノードティック・ボンディングや高温ボンディング）な方法を用いてもよい。

【0117】〔実施の形態9〕ここでは、対物レンズとソリッドイマージョンレンズとで対をなす組あるいは対物レンズを2つ以上設け、アレイ状に配列する例について説明する。

【0118】図23は、実施の形態9に係る光ピックアップ用光学素子の構成を示す説明図である。この光ピックアップ用光学素子は、図示の如く、対物レンズ102a～102cとソリッドイマージョンレンズ301a～301cとの組が3つのアレイ状となっている。この光ピックアップ用光学素子は、前述した製造方法により容易に製造できる。

【0119】上記により3つのスポットが形成される。また、図示していないが、基板101上面からコリメートされた光が入射される。この場合の光源は、レンズアレイに対応するようなアレイ状の光源やレンズアレイ全体を照射するような単独の光源などを用いる。アレイ状の光源を用いると独立した駆動が可能であるので、記録／再生／消去の各動作を別々に行うことができる。また、単独の光源を用いる場合には、再生を3カ所から同時に読み出すことが可能である。

【0120】〔実施の形態10〕

（実施の形態10の構成）図24は、実施の形態10に係る光ピックアップ用光学素子の構成を示す説明図である。この光ピックアップ用光学素子は、図示の如く、光源からのコリメートされた光を集光させる対物レンズ102と、記録面に近接する位置にある対物レンズと光軸

が一致し、基板101より屈折率の高いソリッドイマージョンレンズ301を一枚の基板101に形成すると共に、対物レンズ102上に偏光手段としての1/4波長板2401と、1/4波長板2401上に配置され、斜面に誘電体多層膜2402aが形成され、光路を切り替えるための光路切り替え手段としてのプリズム2402とが設けられている。

【0121】さらに、上記構成を詳細に説明する。対物レンズ102とソリッドイマージョンレンズ301の両方のレンズは、基板101に対して深さ方向にレンズ面を形成しており、屈折率の効果を上げるために基板101よりも屈折率の高い材料で形成されている。また、対物レンズ102とソリッドイマージョンレンズ301とは光軸が一致するように配置されている。

【0122】ソリッドイマージョンレンズ301の形状が半球である場合、対物レンズ102の焦点位置に半球の端面が配置されるように構成させる。また、ソリッドイマージョンレンズ301の形状が超半球（レンズ厚 $r(1+1/n)$ のときに収差が少ない；ただし、 r は半径、 n は屈折率）の場合は、超半球レンズの中心から nr だけ下の位置に対物レンズ102の焦点位置がくるように配置すると、ちょうど超半球レンズの端面に集光する。また、対物レンズ102の形状は、球面あるいは非球面である。

【0123】基板101の材料は、たとえばBK7や石英などのガラスを用いる。また、ソリッドイマージョンレンズ301の材料としては、LaSFN18（屈折率 $=1.90522$ 、波長 656.3nm 、SCHOTT社カタログ参照）やSF59（屈折率 $=1.94325$ 、波長 656.3nm 、SCHOTT社カタログ参照）などがある。なお、対物レンズ102を構成する基板とソリッドイマージョンレンズ301を構成する基板とを別々に作製しておき、これを上記関係となるように貼り合わせてもよい。

【0124】1/4波長板2401の材料としては複屈折作用のある材料の特性を用い、光の偏光状態を常光線と異常光線とで波長の1/4だけ変える。常光線の屈折率を n_o 、異常光線の屈折率を n_e とすると、1/4波長板2401の厚さは、 $\lambda/\{4(n_e-n_o)\}$ で表される。たとえば、水晶では、常光線の屈折率が 1.538 、異常光線の屈折率が 1.547 なので、波長 362.8nm の場合の厚さは $17.58\mu\text{m}$ となる。

【0125】プリズム2402にはその斜面に誘電体多層膜2402aが成膜されている。この誘電体多層膜2402aで各偏光（p偏光とs偏光）に対する反射率と透過率が異なることを利用し、光路を分離している。また、プリズム2402の基板101に対して垂直な面は、ARコーティングが施されている。このように構成された1/4波長板2401とプリズム2402に対して接着されている。また、プリズム2402の斜面の誘

電体多層膜2402aは蒸着処理により形成される。

【0126】（実施の形態10の動作）次に、以上のよう
に構成された光ピックアップ用光学素子の動作につ
いて説明する。図24において、上部からのコリメー
トされた光はプリズム2402に入射する。このときコリ
メー
ト光はp偏光に直線偏光されている。入射した光は図
の下向きに進む。この光が1/4波長板2401を透過
すると、常光線と異常光線との間で $\pi/2$ の位相差が生
じ、光は円偏光となる。ただし、1/4波長板2401
は、結晶の光軸を入射光の偏光方向に対して45度だけ
傾けて配置されてる。このため、この円偏光の光は対物
レンズ102で収れんされ、ソリッドイマージョンレン
ズ301の端面で集光される。

【0127】また、データを読み出す場合には、上記光
が光記録面で反射し、対物レンズ102でコリメートさ
れ、再び1/4波長板2401を通過するとs偏光とな
り、対物レンズ102でコリメート光となってプリズム
2402の斜面（誘電体多層膜2402a）で反射さ
れ、図24において右側に進む。

【0128】〔実施の形態11-1〕

（実施の形態11-1の構成）図25は、実施の形態1
1-1に係る光ピックアップの構成を示す説明図であ
る。この光ピックアップは、同一の基板101上に、上
記実施の形態10で説明した光ピックアップ用光学素子
と、発光部2501と、受光部2502と、偏光ビーム
スプリッタとして機能するプリズム2503と、が配置
されている。発光部2501は発光手段としてのLD
（レーザダイオード）2504とコリメートレンズ25
05とを備え、受光部2502は受光手段としてのPD
（フォトディテクタ）2506と集光レンズ2507と
を備えている。

【0129】コリメートレンズ2505と集光レンズ2
507は共に平板上にレンズを形成したもので、基板1
01に垂直に配置されている。LD2504は、基板1
01に対して垂直に配置された銅などのブロックで配置
されている。また、このブロックはLD2504の放熱
を兼ねている。なお、カンに封入されたLDを使用し
てもよい。

【0130】PD2506はSi基板そのものを垂直に
配置している。また、PD2506はLD2504と同
様にカンに封入されたものを使用してもよい。さらに、
これらデバイスを駆動するための電気回路などを基板1
01に配置してもよい。プリズム2402は斜面で全反
射するようなコーティングが施されている。また、プリ
ズム2402およびプリズム2503のいずれも光が入
射する側の面はARコーティングが施されている。

【0131】プリズム2402の基板101側には、実
施の形態10で述べた1/4波長板2401を配置し、
該1/4波長板2401の下には対物レンズ102が形
成されている。また、この対物レンズ102とソリッド

イマージョンレンズ301との位置関係は、実施の形態
10と同様である。また、コリメートレンズ2505や
集光レンズ2507、LD2504、PD2506は、
たとえば基板101にエッチングされた溝により位置決
めされた後、接着剤などで固定する。

【0132】（実施の形態11-1の動作）次に、以上
のように構成された光ピックアップの動作について説明
する。図25において、LD2504から出射されたレ
ーザ光は、コリメートレンズ2505でコリメートさ
れ、プリズム2503に入射する。なお、このときのレ
ーザ光は、p偏光に直線偏光されている。次いで、入射
された光はプリズム2503の斜面で屈折されてプリズ
ム2402に進む。この光がプリズム2402で反射さ
れ、1/4波長板2401を透過すると、常光線と異常
光線との間で $\pi/2$ の位相差が生じ、その光は円偏光と
なる。

【0133】ただし、1/4波長板2401は、結晶の
光軸を入射光の偏光方向に対して45度だけ傾けて配置
されている。この円偏光の光が対物レンズ102で収れ
ん光にされ、ソリッドイマージョンレンズ301の端面
で集光する。データを読み出す際は、この光が光記録面
で反射して対物レンズ102でコリメートされ、再び1
/4波長板2401を通過するとs偏光になり、プリズ
ム2402に進む。このプリズム2503ではs偏光の
光は反射するので、集光レンズ2507側で反射され、
集光レンズ2507で収れん光となり、PD2506上
に集光される。

【0134】また、図示していないが、フォーカシング
・エラー信号の検出は、ナイフエッジ法あるいは非点収
差法のいずれを用いてもよい。さらにトラッキング・エ
ラーの検出も必要に応じて適切な方法を用いて行う。

【0135】〔実施の形態11-2〕

（実施の形態11-2の構成）図26は、実施の形態1
1-2に係る光ピックアップの構成を示す説明図であ
り、有限系の光学系を示している。この光ピックアップ
は、上記実施の形態11-1に対して、コリメートレン
ズと集光レンズを排除し、1つの基板102に、対物レ
ンズ102と、ソリッドイマージョンレンズ301と、
1/4波長板2401と、プリズム2601と、LD2
504と、PD2506とが一体的に支持・構成されて
いる。

【0136】プリズム2601は、その斜面部分に誘電
体多層膜がコーティングされている。また、LD250
4およびPD2506と接する面はARコーティングを
施してある。LD2504とPD2506はプリズム2
601面に接するように配置されている。この例では、
プリズム2601面にエッチングで溝を形成し、そこに
LD2504およびPD2506を接着してある。な
お、この配置方法はこれに限定されるものではない。ま
た、LD2504およびPD2506の駆動回路が配置

10

20

30

40

50

されている。

【0137】（実施の形態11-2の動作）次に、以上のように構成された光ピックアップの動作について説明する。図26において、LD2504から出射されたレーザ光は、プリズム2601に入射する。このときのレーザ光は発散光で、かつp偏光に直線偏光されている。入射した光はプリズム2601を透過し、1/4波長板2401を透過すると、常光線と異常光線との間で $\pi/2$ の位相差が生じ、その光は円偏光となる。

【0138】ただし、1/4波長板2401は、結晶の光軸を入射光の偏光方向に対して45度だけ傾けて配置されている。この円偏光の光が対物レンズ102で収れん光にされ、ソリッドイマージョンレンズ301の端面で集光する。データを読み出す際は、この光が光記録面で反射して対物レンズ102でコリメートされ、再び1/4波長板2401を通過するとs偏光になり、プリズム2402に進む。このプリズム2503ではs偏光の光は反射するので、集光レンズ2507側で反射され、集光レンズ2507で収れん光となり、PD2506上

に集光される。

【0139】上記のように、この実施の形態11-2では、実施の形態11-1に対してコリメートレンズと集光レンズを排除した構成であるので、光ピックアップを簡単な構成にすることができる。

【0140】また、図示していないが、フォーカシング・エラー信号の検出は、ナイフエッジ法あるいは非点収差法のいずれを用いてもよい。さらにトラッキング・エラーの検出も必要に応じて適切な方法を用いて行う。

【0141】〔実施の形態12〕

（実施の形態12の構成）図27は、実施の形態12に係る光ピックアップの構成を示す説明図である。この実施の形態12では、対物レンズ102とソリッドイマージョンレンズ301と1/4波長板2401とが1つの基板102に構成され、2つのプリズム2701~2702を構成する別の基板と、コリメートレンズ2505と集光レンズ2507とが構成される別の基板と、さらにLD2504とPD2507とが搭載されたPCB基板など、4種類の基板を積層して光ピックアップを構成している。なお、プリズム2701は、その斜面に誘電体多層膜がコーティングされている。また、プリズム2702は、斜面で全反射するように構成されている。

【0142】（実施の形態12の動作）次に、以上のように構成された光ピックアップの動作について説明する。図27において、LD2504から出射されたレーザ光は、コリメートレンズ2505でコリメートされ、プリズム2701に入射する。このときのレーザ光はp偏光に直線偏光されている。入射した光はプリズム2701の斜面で反射され、プリズム2702に進む。プリズム2702ではp偏光の光を透過し、1/4波長板2

401を透過する。1/4波長板2401を透過すると、常光線と異常光線との間で $\pi/2$ の位相差が生じ、その光は円偏光となる。

【0143】ただし、1/4波長板2401は、結晶の光軸を入射光の偏光方向に対して45度だけ傾けて配置されている。この円偏光の光が対物レンズ102で収れん光にされ、ソリッドイマージョンレンズ301の端面で集光する。データを読み出す際は、この光が光記録面で反射して対物レンズ102でコリメートされ、再び1/4波長板2401を通過するとs偏光になり、対物レンズ102でコリメート光になってプリズム2701に進む。このプリズム2701でp偏光の光は反射され、プリズム2702に進む。さらにプリズム2702で反射され、集光レンズ2507で収れん光となり、PD2506上に集光される。

【0144】〔実施の形態13-1〕

（実施の形態13-1の構成）図28は、実施の形態13-1に係る光ピックアップの構成を示す説明図である。この光ピックアップは、前述した図26の光ピックアップ（これら全体を2801とする）をアレイ状に配置して構成されている。すなわち、この実施の形態13-1では、図示の如く2×3のアレイ状となっている。

【0145】また、上記ピックアップアレイへのデータの入出力は、各光ピックアップ2801に対して独立して行われるように構成されている。すなわち、LD2504とPD2506の駆動回路は、各光ピックアップ2801ごとに設けられている。また、図28では、アレイの配置は縦横とも等間隔であるが、これ以外に、たとえば図29に示すような配置であってもよい。なお、図29ではアレイ配置を平面図で示してある。

【0146】（実施の形態13-1の動作）次に、以上のように構成された光ピックアップの動作は、基本的には前述した実施の形態11-1（図26）と同様である。LD2504とPD2506の駆動方法は、アレイに対応させて制御する必要がある。つまり、書き込み時にはLD2504は書き込みデータに合わせて変調され、読み込み時にはLD2504は直流的にONされ、光記録面から反射してきた光信号を各PD2506が読み込む。

【0147】〔実施の形態13-2〕

（実施の形態13-2の構成）図30は、実施の形態13-2に係る光ピックアップの構成を示す説明図である。この光ピックアップは、前述した図27の光ピックアップ（これら全体を3001とする）をアレイ状に配置して構成されている。

【0148】すなわち、対物レンズ102と、ソリッドイマージョンレンズ301と1/4波長板2401とのアレイ基板と、プリズム2701とプリズム2702とのアレイ基板と、集光レンズ2507とコリメートレンズ2505とのアレイ基板と、LD2504とPD25

10

20

30

40

50

07とを搭載した基板とを積み重ねた構成となっている。

【0149】（実施の形態13-2の動作）次に、以上のように構成された光ピックアップの動作は、前述した実施の形態13-1と同様に、データの入出力は各光ピックアップ3001に対して独立して行う。また、基本的な動作は実施の形態12（図27）と同様であるので、ここでの説明は省略する。

【0150】（実施の形態14）この実施の形態14では、少なくとも、基板の片面にフォト感光性樹脂の層を平坦な光学材料上に形成し、上記フォト感光性樹脂にフォトリソグラフィ用の光を光拡散手段で拡散して照射し、微小な凹曲面を形成する。さらに、このフォト感光性樹脂と光学材料に対して等方性および（あるいは）異方性のドライエッチングを行って微小凹曲面を形成し、該微小凹曲面に屈折率の異なる材料を埋め込んで、所定の光学デバイスを作製する。以下、順に説明する。

【0151】（工程1）図31は、実施の形態14に係る光ピックアップ用光学素子の製造工程（1）を示す説明図である。図31に示す工程では、基板101の片面に後述する選択比に基づく厚さの感光性樹脂3101をスピナーなどでコーティングする。

【0152】さらに、この工程に用いる材料などについて詳述する。レンズを形成する基板材料は用途に応じて任意に選択することができる。たとえば材料としては基板としてBK7（波長768.2nmでの屈折率1.5115）を用いる。

【0153】上記の基板材料の片面に感光性樹脂3101を所定の厚さで塗布する。塗布する感光性樹脂3101の厚さは、基板101上に形成するレンズの高さと、後に感光性樹脂3101を現像してエッチングを行う際の基板材料のエッチング速度と感光性樹脂3101のエッチング速度の比（選択比）により設定する。たとえば両者のエッチング速度が等しい場合（選択比1）には感光性樹脂3101の高さは形成するレンズの高さと等しく設定する。また、感光性材料のエッチング速度に対して基板材料のエッチング速度が2倍大きい場合（選択比2）には感光性樹脂3101の高さはレンズの高さの1/2でよい。

【0154】また、基板101上に塗布する感光性樹脂3101の材料としては、通常の半導体製造で用いられるフォトリソあるいは感光性ドライフィルムを使用することができる。具体的には、東京応化社製OFPR-800（ポジ型レジスト）、OMR-85（ネガ型レジスト）などを用いる。ポジ型あるいはネガ型の選択によりレジストの形状を転写する工程（フォトリソ工程）に用いるマスクの形状が変化するが、基本的な形成手順は変わらない。この実施の形態では、ポジ型レジストを用い場合について説明する。

【0155】（工程2）図32は、実施の形態14に係

る光ピックアップ用光学素子の製造工程（2）を示す説明図である。上記工程1の後、基板101上に形成したレジスト上に、所望とするレンズ径と同等あるいは小さい径のパターンを形成した拡散板マスク3201を介して光を照射し、レジストを感光させる。このとき、拡散板マスク3201自体に光を散乱させる性質があるので、露光機から出た光は拡散板マスク3201内で散乱し、レジストを照射する。

【0156】（工程3）図33は、実施の形態14に係る光ピックアップ用光学素子の製造工程（3）を示す説明図である。上記工程2の後、現像を行うと図33に示すように、基板101上に断面が凹曲面のレジストが残る。この残存したレジストに必要な応じて熱および（または）圧力を作用させて重力および表面張力の効果を用い、凹曲面を成形して所望の凹レンズ形状に形成する。作用させる温度はレンズ形状により異なるが、温度においては130度から400度、また、圧力は1から10気圧の範囲を選ぶことができる。

【0157】（工程4）図34および図35は、実施の形態14に係る光ピックアップ用光学素子の製造工程（4）を示す説明図である。上記工程3で形成した凹レンズ形状のレジストをマスクとして基板ガラスを基板101に垂直に方向にエッチング（異方性エッチング）する。このエッチング手段としては半導体製造プロセスで通常用いられるドライエッチングを採用する。具体的には、反応性イオンエッチング法（RIE：平行平板型リアクティブ・イオン・ドライ・エッチング）、あるいは導入ガスをイオン化し、その生じたイオンを基板101に向かって電氣的に加速し、基板に直交な方向からエッチング面により衝突させることでエッチングを行う物理化学的な電子サイクロトロン共鳴エッチング法（ECR）などのドライエッチングを用いる。

【0158】ドライエッチングに用いるガスは基板材料により選択することができる。たとえば基板材料がガラスの場合にはCF₄、CHF₃などを用いることができる。また、エッチング速度、選択性の調整のために上記のガスにN₂、O₂、Arなどのガスを混入することもできる。エッチングは所望の形状（径、深さ）が得られるようにレジストがなくなるまで、あるいは所定の量だけレジストをエッチングする。レジストが残っている場合はアッシングなどによりレジストのみを除去する。このようにして基板101に凹レンズ形状3501を形成する。

【0159】（工程5）図36および図37は、実施の形態14に係る光ピックアップ用光学素子の製造工程（5）を示す説明図である。ここでは上記工程4で形成した凹レンズ形状3501の部分に基板101より屈折率の高い材料を形成する。この実施の形態では所望の屈折率を有した材料をターゲットとしたスパッタ法により凹レンズ形状3501を含んだスパッタ膜3601を形

10

20

30

40

50

成する。さらに基板面のエッチバックおよび平坦化により凹レンズ形状3501の部分に選択的にスパッタ膜3601を残存させる。このようにして平板レンズを作製する。基板101上に数多くのレンズを形成し、必要に応じて切断して個別のレンズとする。また、凹曲面に埋め込む材料としてLaF₂（波長768.2nmでの屈折率1.7335）またはSF₅1（波長768.2nmでの1.8927）を用いることができる。なお、スパッタ法以外にも光硬化性樹脂材料をコーティングする方法を用いてもよい。

【0160】（具体例）ここで前述した工程1～5における具体的な材料や処理などについて説明する。基板101には合成石英を、ポジレジストとして東京応化工業社製OFPR-800を使用する。また、拡散板マスクとしてオパールガラスを用いる。合成石英上にレジストをスピコートにより膜厚5μmのコーティングを行う。これをプリベークした後、拡散板マスクを使った露光を行って現像する。引き続き、200°Cでポストベークする。次にECREッチングを行う。この際のガスはAr、O₂、CF₄を使用する。エッチングが終了すると、残っているレジストを除去する。次いでスパッタでSF₅1の膜を成膜する。最後に表面を表面研磨により平坦化すると共に、所望の膜厚となるように研磨する。

【0161】さらに、この実施の形態14の工程をまとめて説明する。まず、基板101に感光性樹脂3101をスピナーなどでコーティングする。半導体製造装置など通常の露光装置の光源から出射した光を拡散光としてマスク上にあるパターンを照射する。すると、光はフォトマスクを透過あるいは吸収反射し、感光性樹脂3101には透過した散乱光が照射される。たとえば散乱光が完全拡散状態とすると、光の拡散する位置での角度に対する光強度は、角度のコサインのn乗に比例する。マスクに対して基板101の感光性樹脂3101面の位置を密着させずに、ある距離を隔てておくことにより、感光性樹脂3101上にはコサインのn乗に比例したような形の強度分布が生じ、この状態の光で感光性樹脂3101を露光する。この後、現像処理を行うと感光性樹脂3101には光強度分布の形状に近い状態の凹曲面が形成される。この状態でドライエッチングを行って凹曲面を基板に形成する。残った感光性樹脂3101を剥離した後に、基板101よりも屈折率の高い材料を埋め込み、平板レンズを作製する。

【0162】〔実施の形態15〕この実施の形態15では、実施の形態14で述べた拡散光の実現例について説明する。図38は、実施の形態15に係る拡散光の第1の実現例を示す説明図である。この例では、拡散光の実現方法として、パターンマスク3801の上に拡散板3802を配置し、そこで拡散光を生成する。なお、ここで用いるパターンマスク3801は透明なガラス基板の

Crでパターンニングした通常のものである。

【0163】すなわち、図38に示すように、露光時にはパターンマスク3801の上に拡散板3802を置いて露光する。その後は、実施の形態14で説明したと同様に、エッチングおよび高屈折率の材料の埋め込み処理を行う。また、断面が矩形上の凹形状を凹曲面作製の際に同時に作製することも可能である。このときには、1つのマスクで凹曲面の部分には拡散するガラスを置き、溝の部分には透明なガラスのままの状態に露光すればよい。

【0164】〔実施の形態16〕図39は、実施の形態16に係る拡散光の第2の実現例を示す説明図である。この例では、拡散光の実現方法として、パターンマスク3801の上に回析格子3901を配置し、そこで拡散光を生成する。回析格子3901は、所望とする拡散状態が得られるような完全拡散ではない光強度分布となるような格子パターンを形成する。このときには非球面形状など所望の形状が得られるように1次回析光や高次回析光を含めた光強度分布が得られる回析格子パターンを設計することができる。

【0165】また、回析格子の代わりに微小な開口による回析現象を利用する方法もある。円形開口の回析の光強度はエアリーディスクとして知られており、強度を表す関数はベッセル関数になる。この0次光を使って感光性樹脂3101に凹曲面を形成することもできる。

【0166】〔実施の形態17〕この実施の形態17では、前述した実施の形態14で説明した製造方法に基づいて、基板上の対物レンズおよびソリッドイマージョンレンズを作製する。まず、一方のレンズを作製し、続いて基板の反対側にもう一方のレンズを作製する。以下、工程順に説明する。

【0167】（工程1）図40は、実施の形態17に係る光ピックアップ用光学素子の製造工程（1）を示す説明図である。図40に示す工程では、すでに一方の面には対物レンズ102が形成されており、もう一方の面には感光性樹脂3101をコーティングし、拡散板マスク3201を用いて露光する状態を示している。

【0168】塗布する感光性材料3101の厚さは、基板101上に形成するレンズの高さと、後に感光性材料3101を現像してエッチングを行う際の基板材料のエッチング速度と感光性樹脂のエッチング速度の比（選択比）により設定する。たとえば両者のエッチング速度が等しい場合（選択比1）には感光性樹脂の高さは形成するレンズの高さと等しく設定する。また、感光性材料のエッチング速度に対して基板材料のエッチング速度が2倍大きい場合（選択比2）には感光性樹脂の高さはレンズの高さの1/2でよい。

【0169】この実施の形態17では、これまでの実施の形態と同様に感光性材料としてポジ型レジストを用いる場合を例にとって説明する。すでに一方の面に形成さ

れているレンズと正確な位置合わせを行うために、対物レンズ102側に位置合わせ用にアライメントマークとマスクのアライメントマークを予め設けておき、露光する際にはそのマークで位置合わせを行う。

【0170】(工程2)図41は、実施の形態17に係る光ピックアップ用光学素子の製造工程(2)を示す説明図である。この工程2では、工程1の露光後の処理として実施の形態14と同様に現像処理を行う。この現像により図41に示す如く、基板101上に断面が凹曲面の樹脂が残る。この残存したレジストに必要に応じて熱および(または)圧力を作用させて重力および表面張力の効果を用い、凹曲面を成形して所望の凹レンズ形状に形成する。作用させる温度はレンズ形状により異なるが、温度においては130度から400度、また、圧力は1から10気圧の範囲を選ぶことができる。

【0171】(工程3)図42および図43は、実施の形態17に係る光ピックアップ用光学素子の製造工程(3)を示す説明図である。上記工程2で形成した凹レンズ形状のレジストをマスクとして基板ガラスを基板に垂直に方向にエッチング(異方性エッチング)する。このエッチング手段としては半導体製造プロセスで通常用いられるドライエッチングを採用する。具体的には、反応性イオンエッチング法(RIE)、電子サイクロトロン共鳴エッチング法(ECR)などのドライエッチングを用いる。

【0172】ドライエッチングに用いるガスは基板材料により選択することができる。たとえば基板材料がガラスの場合には CF_4 、 CHF_3 などを用いることができる。また、エッチング速度、選択性の調整のために上記のガスに N_2 、 O_2 、 Ar などのガスを混入することもできる。エッチングは所望の形状(径、深さ)が得られるようにレジストがなくなるまで、あるいは所定の量だけレジストをエッチングする。レジストが残っている場合はアッシングなどによりレジストのみを除去する。このようにして基板101に凹レンズ形状4301を形成する。

【0173】(工程4)図44は、実施の形態17に係る光ピックアップ用光学素子の製造工程(4)を示す説明図である。ここでは上記工程3で形成した凹レンズ形状4301の部分に基板101より屈折率の高い材料を形成する。この実施の形態では所望の屈折率を有した材料をターゲットとしたスパッタ法により凹レンズ形状4301を含んだスパッタ膜4401を形成する。さらに基板面のエッチバックおよび平坦化により凹レンズ形状3501の部分に選択的にスパッタ膜4401を残存させる。このようにして平板レンズを作製する。基板101上に数多くのレンズを形成し、必要に応じて切断して個別のレンズとする。なお、スパッタ法以外にも光硬化性樹脂材料をコーティングする方法を用いてもよい。

【0174】さて、このようにして作製したヘッドを浮

上させる場合、前述した図15と同様に、空気力学的構造を考慮し、その下部部分に凹形状をエッチングにより作製する。この凹形状をマイクロレンズの部分には拡散するガラスを用い、溝の部分には透明なガラスを用いる。

【0175】[実施の形態18]この実施の形態18では、以上説明した実施の形態14~17の製造方法に基づいて、コリメートされた光を集光させる働きを有する対物レンズ102と、ソリッドイマージョンレンズ301と、をそれぞれ別々の基板上に形成する。そして、この対物レンズ102とソリッドイマージョンレンズ301との光軸を合わせた状態ではり合わせ、接合する。

【0176】この接合例を前述の図16を用いて説明する。対物レンズ102を具備した基板101とソリッドイマージョンレンズ301を具備した基板1601の2つを、実施の形態14~17の製造方法に基づいて作製する。なお、この2つの基板は同一材料で作製する。対物レンズ102を具備した基板101には、その下面に位置決め用の突起(左側)とくぼみ(右側)とを設ける。さらに、ソリッドイマージョンレンズ301を具備した基板1601には、対物レンズ102に対応する位置にくぼみ(左側)と突起(右側)とを設ける。この2つの基板を突起とくぼみとを位置合わせて接合し、図16に示す如くヘッドを形成する。

【0177】なお、上記において、突起やくぼみの形状ははめ込みやすい構造であれば、どのような構造であってもよく、また、数もいくつあってもよい。さらに、2つの基板の固定を強固にするため、接着剤を用いても、あるいは電気化学的なり合わせでもよい。ただし、この突起やくぼみは、対物レンズ102とソリッドイマージョンレンズ301の光路を遮るような部分を除いた位置に設ける。また、接着剤は基板101とほぼ同等の屈折率を有する紫外線硬化性樹脂を用いる。

【0178】次に、上記とは異なる接合例を前述の図20を用いてについて説明する。ここでは、実施の形態14~17の製造方法に基づいて作製した、対物レンズ102を具備した基板101とソリッドイマージョンレンズ301を具備した基板1601とをそれぞれ所定の位置に設けたマーカーを用いて接合する。なお、図20ではマーカーを3つで示したが、もちろん数は必要に応じて設ければよい。

【0179】また、上記の他に前述した図21と同様の接合を行ってもよい。まず、図21(a)に示すように、位置合わせ手段を対物レンズ102の光軸を中心とした円周上に対物レンズ102を挟んで対向するように複数個形成する。他方、図21(b)に示すように、ソリッドイマージョンレンズ301を形成した基板にも位置合わせ手段を図21(a)の位置合わせ手段と対応する位置に設ける。そして、この2つの基板の位置合わせ手段同士を合わせて接合する。なお、この場合における

位置合わせ手段として、たとえば一方が凸形状であり、他方が凹形状であるような立体的なものを用いる。基板上に凸形状あるいは凹形状を形成する方法としては、レジスト成形とエッチングによって凸形状あるいは凹形状を形成する方法を用いる。

【0180】また、位置合わせ手段をマーカーとする場合は、図22に示したように平面的なマーカーを用いることも可能である。これは半導体製造プロセスで通常用いられている方法と同様であり、位置合わせを行う双方の基板に位置合わせのための精度を考慮したマーカーを形成し、マーカー同士の重なりによって位置合わせを行う。この位置合わせ用のマーカーは、実施の形態14～17で説明した工程を導入し、通常の半導体製造プロセスで用いられる方法と同様に形成することができる。

【0181】このようにして、双方の基板に設けた両レンズの光軸を一致させて位置合わせした後、固定方法として接着剤を用いてもよく、あるいは双方の基板をアノードティック・ボンディングや高温ボンディングなどの電気化学的な方法で接着してもよい。

【0182】

【発明の効果】以上説明したように、本発明に係る光ピックアップ用光学素子（請求項1）によれば、基板上に対物レンズの集光長さに等しい厚さの対物レンズを一体的に形成し、構成することにより、基板内で集光するためのスポットサイズを小さくすることができるため、高密度の記録／再生が可能となる。

【0183】また、本発明に係る光ピックアップ用光学素子（請求項2）によれば、基板および基板の底面に屈折率の高い膜を設け、基板と膜とを合わせた厚さを対物レンズの集光長さに等しくして対物レンズを一体的に形成し、構成することにより、屈折率の高い膜内で集光するため、小さいサイズのスポットが得られ、高密度の記録／再生が可能となる。

【0184】また、本発明に係る光ピックアップ用光学素子（請求項3）によれば、1枚の基板上に対物レンズとソリッドイマージョンレンズとをそれぞれの光軸を合わせて一体的に製造し、構成することにより、レンズ間の光軸調整や位置ずれが排除され、基板内で集光するためのスポットサイズを小さくすることができるので、高密度の記録／再生が可能となる。

【0185】また、本発明に係る光ピックアップ用光学素子の製造方法（請求項4）によれば、半導体製造プロセスを用い、基板の片側の面に凸曲面を形成して対物レンズを製造し、さらに上記形成された対物レンズとは反対面に凹曲面を形成し、該凹曲面に対して上記基板より高い屈折率を有する材料を堆積させてソリッドイマージョンレンズを製造するため、比較的容易に、かつ経済的に、精度の高い光ピックアップ用光学素子を製造することができる。

【0186】また、本発明に係る光ピックアップ用光学

素子（請求項5）によれば、基板に対し、対物レンズおよびソリッドイマージョンレンズの屈折率を高くすることにより、屈折率の高いレンズ中にスポットを形成できるため、小さいサイズのスポットが得られる。

【0187】また、本発明に係る光ピックアップ用光学素子の製造方法（請求項6）によれば、半導体製造プロセスを用い、基板の片側の面に凹曲面を形成して対物レンズを製造し、さらに上記形成された対物レンズとは反対面に凹曲面を形成し、上記2つの凹曲面に対して上記基板より高い屈折率を有する材料を堆積させてソリッドイマージョンレンズを製造するため、比較的容易に、かつ経済的に、精度の高い光ピックアップ用光学素子を製造することができる。

【0188】また、本発明に係る光ピックアップ用光学素子（請求項7）によれば、半導体製造プロセスを用い、第1の基板に対物レンズを形成し、さらに第2の基板に第1の基板よりも屈折率の高いソリッドイマージョンレンズを形成し、この2つの基板をはり合わせて、光ピックアップ用光学素子を構成することにより、屈折率の高いレンズ中にスポットを形成し、小さいサイズのスポットが得られるため、高密度な記録／再生が可能になると共に、対物レンズとソリッドイマージョンレンズがはり合わせにより一体化された構造なので、レンズ間の光軸調整が不要となり、小型軽量化も実現する。

【0189】また、本発明に係る光ピックアップ用光学素子（請求項8）によれば、第1の基板と第2の基板の屈折率とをそれぞれ異ならせることにより、屈折率の高いレンズ中にスポットを形成できるため、小さいサイズのスポットが得られる。

【0190】また、本発明に係る光ピックアップ用光学素子の製造方法（請求項9）によれば、半導体製造プロセスを用い、第1の基板に凸曲面を形成して対物レンズを製造し、第2の基板に凸曲面を形成してソリッドイマージョンレンズを製造し、この2つの基板に形成された対物レンズおよびソリッドイマージョンレンズの両光軸を一致させ、はり合わせするため、比較的容易に、かつ経済的に、精度の高い光ピックアップ用光学素子を製造することができる。

【0191】また、本発明に係る光ピックアップ用光学素子の製造方法（請求項10）によれば、半導体製造プロセスを用い、第1の基板に凹曲面を形成して対物レンズを製造し、第2の基板に凹曲面を形成してソリッドイマージョンレンズを製造し、この2つの基板に該基板とは異なる屈折率の材料を堆積させ、該堆積後の2つの基板に形成された対物レンズおよびソリッドイマージョンレンズの両光軸を一致させ、はり合わせするため、比較的容易に、かつ経済的に、精度の高い光ピックアップ用光学素子を製造することができる。

【0192】また、本発明に係る光ピックアップ用光学素子の製造方法（請求項11）によれば、半導体製造プ

10

20

30

40

50

の製造工程(4)を示す説明図である。

【図 9】実施の形態 4 に係る光ピックアップ用光学素子の製造工程 (5) を示す説明図である。

【図 10】実施の形態 4 に係る光ピックアップ用光学素子の製造工程 (6) を示す説明図である。

【図 11】実施の形態 4 に係る光ピックアップ用光学素子の製造工程 (7) を示す説明図である。

【図 12】実施の形態 4 に係る光ピックアップ用光学素子の製造工程 (8) を示す説明図である。

【図 13】実施の形態 4 に係る光ピックアップ用光学素子の製造工程 (9) を示す説明図である。

【図 14】実施の形態 4 に係る光ピックアップ用光学素子の製造工程 (10) を示す説明図である。

【図 15】実施の形態 5 に係る光ピックアップ用光学素子の構成を示す説明図である。

【図 16】実施の形態 7 に係る光ピックアップ用光学素子の構成を示す説明図である。

【図 17】実施の形態 7 に係る光ピックアップ用光学素子の他の構成例 (1) を示す説明図である。

【図 18】実施の形態 7 に係る光ピックアップ用光学素子の他の構成例 (2) を示す説明図である。

【図 19】実施の形態 7 に係る光ピックアップ用光学素子の他の構成例 (3) を示す説明図である。

【図 20】実施の形態 7 に係る光ピックアップ用光学素子のはり合わせをマーカーで位置合わせする例を示す説明図である。

【図 21】実施の形態 8 に係る光ピックアップ用光学素子の製造工程における光軸合わせをマーカーを用いて行う例を示す説明図である。

【図 22】実施の形態 8 に係る位置合わせ手段のマーカー例を示す説明図である。

【図 23】実施の形態 9 に係る光ピックアップ用光学素子の構成を示す説明図である。

【図 24】実施の形態 10 に係る光ピックアップ用光学素子の構成を示す説明図である。

【図 25】実施の形態 11-1 に係る光ピックアップの構成を示す説明図である。

【図 26】実施の形態 11-2 に係る光ピックアップの構成を示す説明図である。

【図 27】実施の形態 12 に係る光ピックアップの構成を示す説明図である。

【図 28】実施の形態 13-1 に係る光ピックアップの構成を示す説明図である。

【図 29】実施の形態 13-1 に係る他のアレイ配置例を示す平面図である。

【図 30】実施の形態 13-2 に係る光ピックアップの構成を示す説明図である。

【図 31】実施の形態 14 に係る光ピックアップ用光学素子の製造工程 (1) を示す説明図である。

【図 32】実施の形態 14 に係る光ピックアップ用光学素子の製造工程 (2) を示す説明図である。

【図 33】実施の形態 14 に係る光ピックアップ用光学素子の製造工程 (3) を示す説明図である。

【図 34】実施の形態 14 に係る光ピックアップ用光学素子の製造工程 (4-1) を示す説明図である。

【図 35】実施の形態 14 に係る光ピックアップ用光学素子の製造工程 (4-2) を示す説明図である。

【図 36】実施の形態 14 に係る光ピックアップ用光学素子の製造工程 (5-1) を示す説明図である。

10 【図 37】実施の形態 14 に係る光ピックアップ用光学素子の製造工程 (5-2) を示す説明図である。

【図 38】実施の形態 15 に係る拡散光の第 1 の実現例を示す説明図である。

【図 39】実施の形態 16 に係る拡散光の第 2 の実現例を示す説明図である。

【図 40】実施の形態 17 に係る光ピックアップ用光学素子の製造工程 (1) を示す説明図である。

【図 41】実施の形態 17 に係る光ピックアップ用光学素子の製造工程 (2) を示す説明図である。

20 【図 42】実施の形態 17 に係る光ピックアップ用光学素子の製造工程 (3-1) を示す説明図である。

【図 43】実施の形態 17 に係る光ピックアップ用光学素子の製造工程 (3-2) を示す説明図である。

【図 44】実施の形態 17 に係る光ピックアップ用光学素子の製造工程 (4) を示す説明図である。

【図 45】従来における光メモリピックアップ装置の構成を示す説明図である。

【図 46】従来におけるソリッドイマージョンレンズを用いた光学系の集光例を示す説明図である。

30 【図 47】従来における対物レンズとソリッドイマージョンレンズとを組み合わせた浮上ヘッド例を示す説明図である。

【符号の説明】

101 基板

102 対物レンズ

201 屈折率の高い膜

301 ソリッドイマージョンレンズ

501 感光性材料

601 パターン樹脂

701 凸レンズ形状

40 1101 凹レンズ形状

1201 凹レンズ形状部

1301, 1401 スパッタ膜

1601 基板

1602, 1603 突起

2101a~2101d, 2102a~2102d 位置合わせ手段

2401 1/4波長板

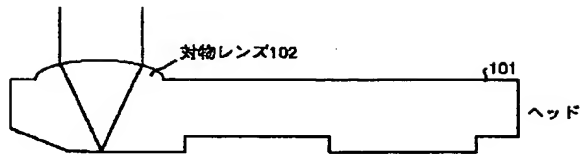
2402, 2503, 2601, 2701, 2702

プリズム

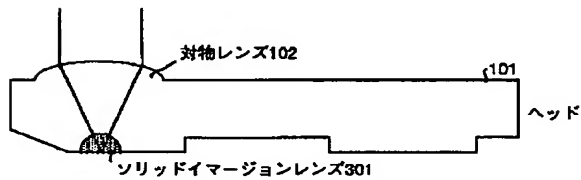
50 2501 発光部

2502 受光部
 2504 LD
 2505 コリメートレンズ
 2506 PD
 2507 集光レンズ
 2801, 3001 光ピックアップ
 3101 感光性樹脂

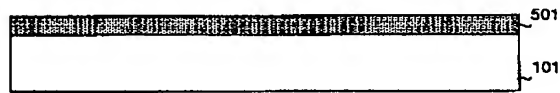
【図1】



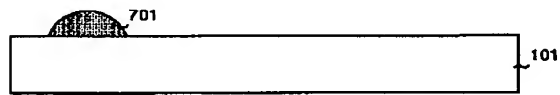
【図3】



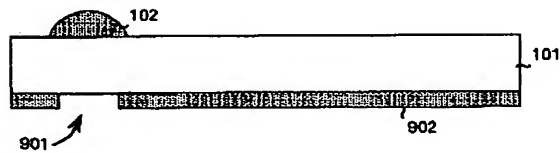
【図5】



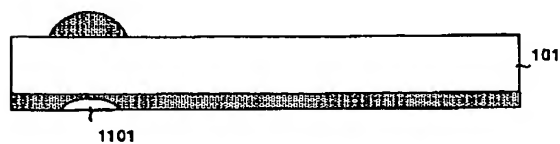
【図7】



【図9】



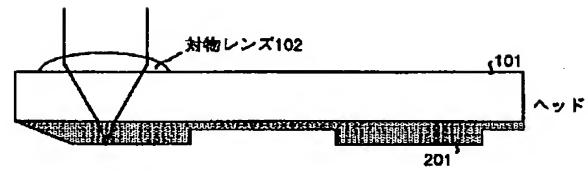
【図11】



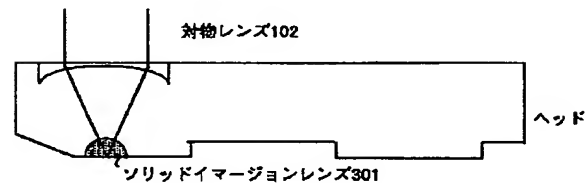
* 3201 拡散板マスク
 3501 凹曲面形状
 3601, 4401 スパッタ膜
 3802 拡散板
 3901 回析格子
 4301 凹レンズ形状

*

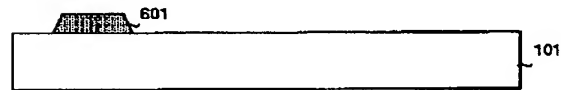
【図2】



【図4】



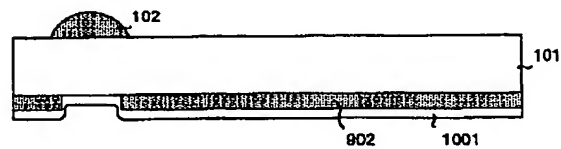
【図6】



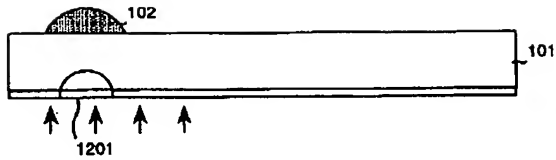
【図8】



【図10】



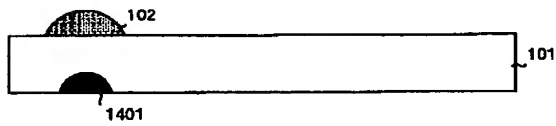
【図12】



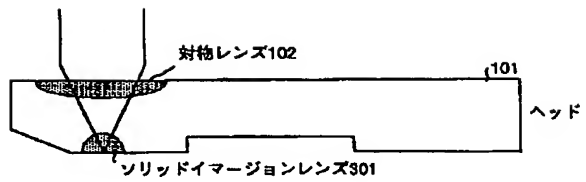
【図13】



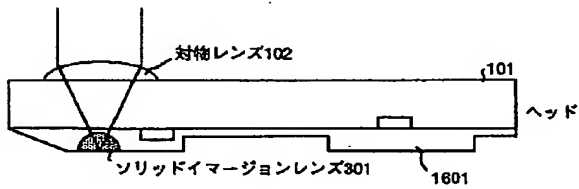
【図14】



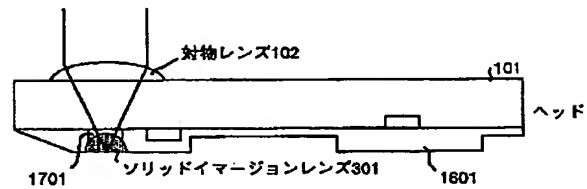
【図15】



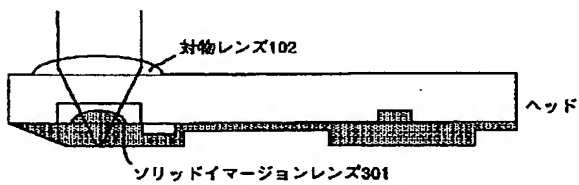
【図16】



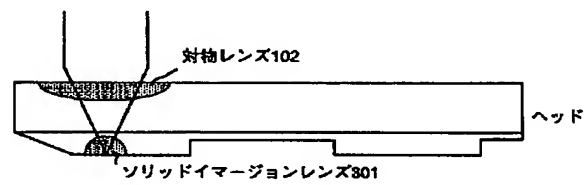
【図17】



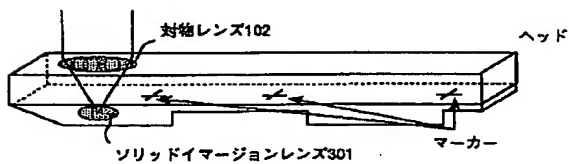
【図18】



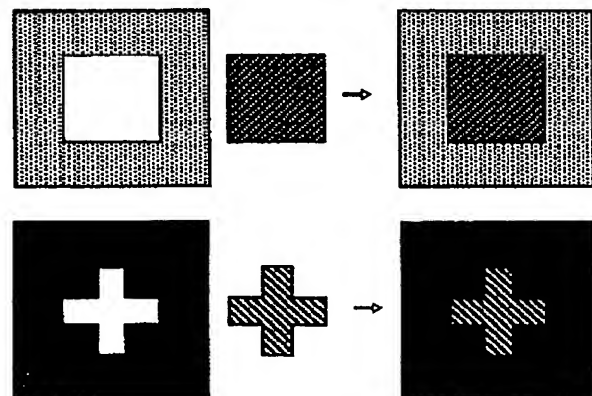
【図19】



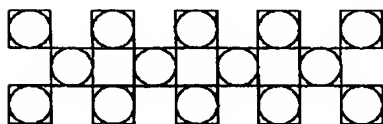
【図20】



【図22】

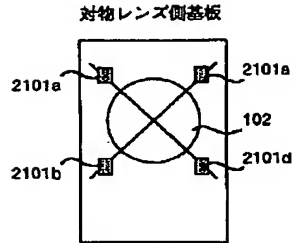


【図29】



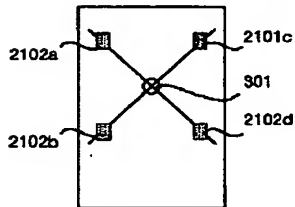
【図 2 1】

(a)

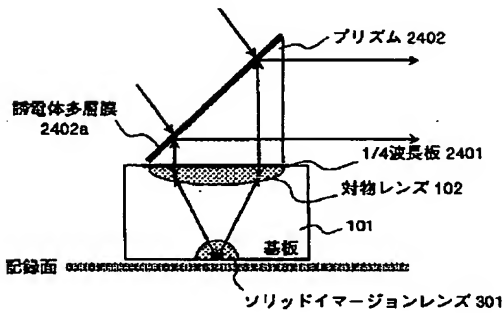


(b)

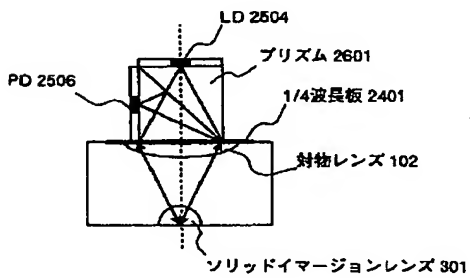
ソリッドイメージャー側基板



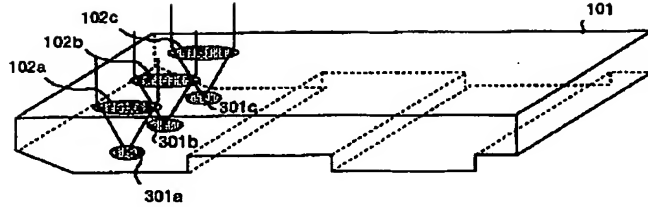
【図 2 4】



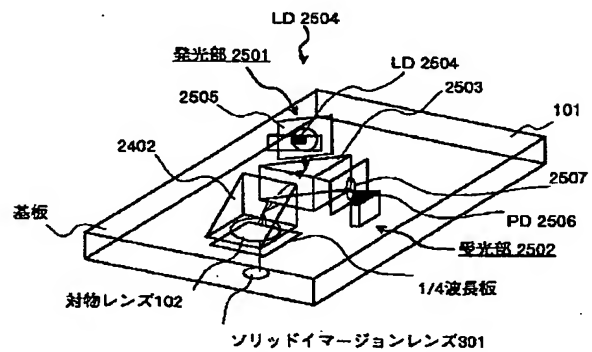
【図 2 6】



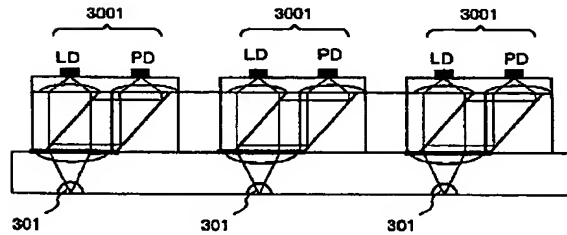
【図 2 3】



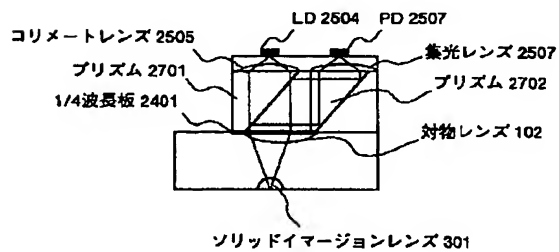
【図 2 5】



【図 3 0】



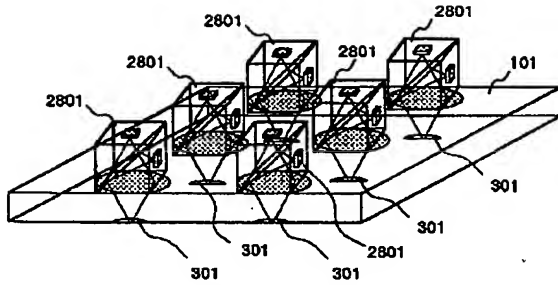
【図 2 7】



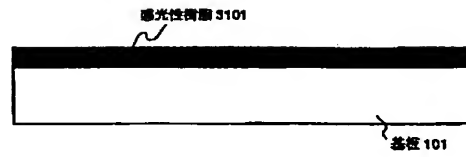
【図 3 3】



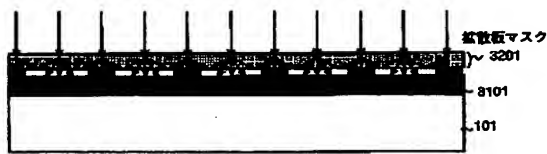
【図 2 8】



【図 3 1】



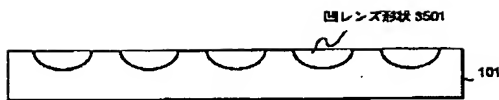
【図 3 2】



【図 3 4】



【図 3 5】



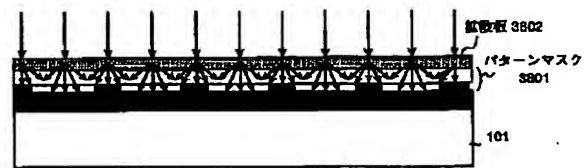
【図 3 6】



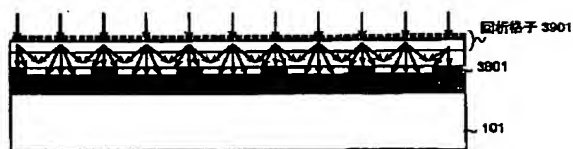
【図 3 7】



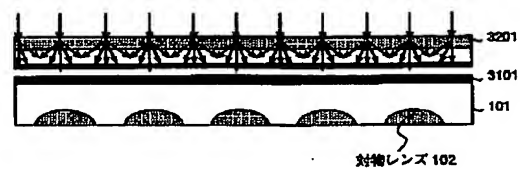
【図 3 8】



【図 3 9】



【図 4 0】



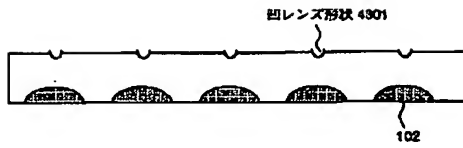
【図 4 1】



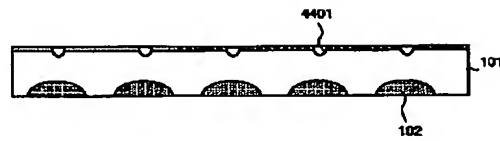
【図 4 2】



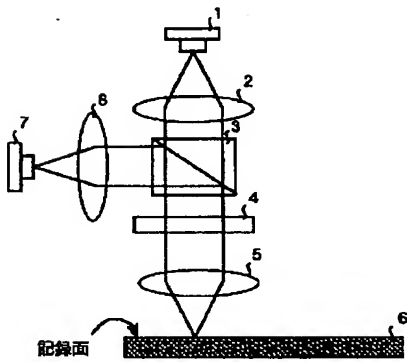
【図 4 3】



【図 4 4】

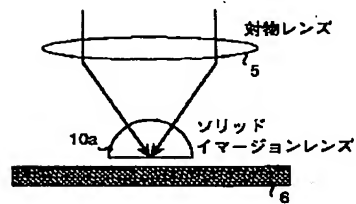


【図 4 5】

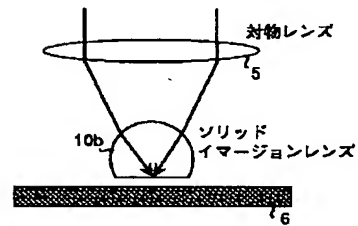


【図 4 6】

(a)



(b)



【図 4 7】

